

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-296756

(43) 公開日 平成7年(1995)11月10日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 J 37/08				
C 2 3 C 14/32		F 8414-4K		
H 0 1 J 27/26				
37/05				
37/305		A 9172-5E		

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 6 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-84361

(22) 出願日 平成6年(1994)4月22日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 梅村 馨

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 川浪 義実

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

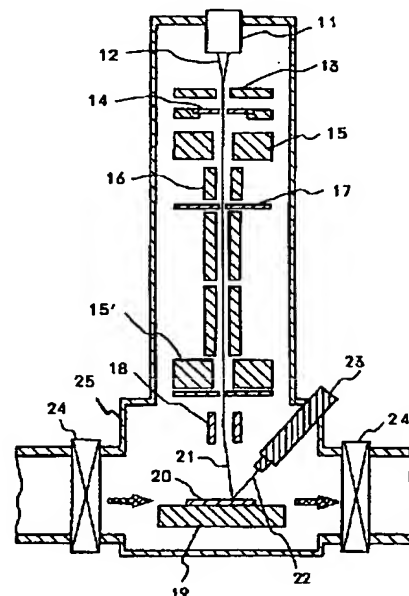
(54) 【発明の名称】 微細加工方法およびその装置

(57) 【要約】

【構成】質量非分離の集束イオンビームによって粗加工を行い、質量分離を行った特定イオン種の集束イオンビームによって仕上げ加工を行う集束イオンビームを用いた微細加工方法。

【効果】ウエハやデバイスなどの試料もしくは試料製造ラインに電氣的汚染を与えることなく、かつ、短時間で精密に微細加工が行える。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】単体元素イオン種の集束イオンビームを用いた微細加工方法において、質量非分離の集束イオンビームの走査によって試料の粗加工を行う工程と、質量分離を行った特定イオン種の集束イオンビームの走査によって仕上げ加工を行う工程とからなることを特徴とする微細加工方法。

【請求項2】請求項1において、上記質量非分離の集束イオンビーム種が加工すべき試料の主成分元素とは異種で、元素の周期律表において上記主成分元素と同族の単体元素イオンである微細加工方法。

【請求項3】請求項1または2において、上記加工すべき試料の主成分がシリコンであり、上記質量非分離の集束イオンビーム種がゲルマニウムイオンである微細加工方法。

【請求項4】請求項1または2において、上記試料の主成分元素がシリコンであり、上記質量非分離の集束イオンビーム種がゲルマニウムイオンで、質量分離を行った特定イオン種が、特に、ゲルマニウム2価イオンである微細加工方法。

【請求項5】請求項4において、上記質量分離を行った特定イオン種が、質量数72または74のゲルマニウム2価イオンである微細加工方法。

【請求項6】請求項1または2において、上記加工すべき試料の主成分が炭素であり、上記質量非分離の集束イオンビーム種がゲルマニウムイオンまたはシリコンイオンであり、上記質量分離を行った特定イオン種が、特に、ゲルマニウム2価イオンまたはシリコン2価イオンである微細加工方法。

【請求項7】請求項1、2、3、4、5または6において、上記粗加工および仕上げ加工が、試料の断面を露出させるための凹部形成加工である微細加工方法。

【請求項8】所望のイオンを放出するイオン源と、放出イオンを集束化するイオンビーム集束系と、上記放出イオンを質量分離する質量分離器と、上記集束イオンビームを走査する偏向器と、加工すべき試料を保持する試料台とからなる集束イオンビーム装置において、上記イオン源が、加工すべき試料の主成分元素とは異種元素で、周期律表において上記主成分元素と同族の単体元素をイオン材料とするEHDイオン源であることを特徴とする微細加工装置。

【請求項9】請求項8において、上記加工すべき試料の主成分がシリコンであり、上記イオン源が、ゲルマニウム単体をイオン材料とするEHDイオン源である微細加工装置。

【請求項10】請求項8において、上記質量分離器が74以上の質量分解能を有する微細加工装置。

【請求項11】請求項8において、上記加工すべき試料の主成分が炭素であり、上記イオン源が、ゲルマニウム単体またはシリコン単体をイオン材料とするEHDイ

ン源である微細加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体ウエハやデバイス等の試料に集束イオンビームを照射して行う微細加工方法およびその装置に係り、特に、集束イオンビーム照射の際、被加工物およびその製造装置に電氣的汚染をもたらさず、かつ、精度のよい加工を短時間に実現させる微細加工方法およびそれを実現する微細加工装置に関する。

【0002】

【従来の技術】電気流体力学的イオン源(Electro-Hydrodynamics Ion Source、以下、EHDイオン源と略記)は点状領域からイオン放出するため高輝度であり、これを用いて直径100nm以下の細束で1A/cm²以上の高電流密度の集束イオンビーム(Focused Ion Beam:以下FIB)を形成することができる。このFIBの集束性の良さを利用して、半導体プロセスにおけるリソグラフィやイオン注入、エッチング、デポジションなどをレジストなしで局所的に行える。また、FIB照射による局所スパッタリングを利用して、試料の特定場所の断面を切り出してその断面を観察する断面加工や、透過型電子顕微鏡観察用の薄片試料作成加工、多層配線構造のデバイスにおける下層配線と上層配線の結線加工なども行える。ここでは、これらのFIBによる加工を微細加工と呼ぶ。

【0003】FIBによる微細加工の仕上がりの正確さは、ビームの位置精度と集束性、被加工物への再付着物の除去方法、装置自身の振動によるビームの位置ずれの無さなどによる。例えば、加工される部分の形状と加工後の形状に応じてイオンビームの走査の方法、繰返し回数、走査速度、イオンビーム電流、加速電圧などのパラメータを変化させるFIB走査方法として、例えば、特開昭60-136315号公報『マイクロイオンビーム加工方法およびその装置』(従来例1)に開示されている。

【0004】EHDイオン源は、イオン材料が金属元素の場合、特に液体金属イオン源(Liquid Metal Ion Source、略してLMIS)とも呼ばれる。LMISの概略構成について記載された公知例として、論文集「ジャーナル・オブ・ヴァキューム・サイエンス・アンド・テクノロジー」第A2巻、(1984年)第1365頁から第1369頁(Journal of Vacuum Science and Technology, A2 (1984) 1365-1369)、(従来例2)の論文がある。EHDイオン源からは多くの金属や半導体元素がイオン化できるが、実用面からは殆どの場合、ガリウム(Ga)イオンが用いられる。Gaの融点および蒸気圧が低いのでイオン材料として取扱い易いためと、放出イオン電流が安定で、実用に耐えるだけの長寿命を有しているためである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】FIBによる微細加工は極力短時間で済ませたい。一方、加工面は、特に、断面観察のための凹部形成加工では、平滑な仕上げ面であることも要求される。従来用いられているガリウム集束イオンビーム（以下Ga・FIBと略記）は、集束性が良くビーム電流密度が高いため、高速の微細加工には適していた。しかし、加工を半導体デバイスの生産ライン（インライン）で行う場合、FIB照射によって試料に電氣的汚染を与えてはならないという制約がある。ところが、GaがSiに対して電氣的に活性であるため、被加工物がSiウエハやデバイスの場合、たとえ僅かであっても試料に照射すると、デバイスやウエハに電氣的影響を与え、デバイスの動作特性に悪影響をもたらすという問題を抱えている。これは電氣的汚染であり、デバイス自身だけでなく製造ラインまでも汚染する。製造ラインがGaで汚染されると、そのラインで製造するデバイス全てに影響を与えるという重大な問題を引き起こすため、Ga・FIBによる微細加工はSi素子の量産製造ラインでは使用できなかった。

【0006】この問題を解決する最適なイオン種はゲルマニウム（Ge）である。Geは、元素の周期律表上Siと同族元素で、Si基板内でエネルギー順位を形成しないので、電氣的汚染源とはならない。また、質量がSiより重いめスバツしやすく、断面形成等の加工時間が短縮できる。しかも、使用するイオン材料は、金-ゲルマニウムなどの合金ではなく、Ge単体を用いることで、金などの重金属汚染を発生することなく、Geイオンのみを放出するため、重金属汚染の心配もない。従って、Ge単体をイオン材料とするGe・EHDイオン源を用いて、Ge・FIBを形成し、これで微細加工することが非汚染微細加工を実現する道である。同じことで、ダイヤモンドを主成分とするデバイスに対してFIB微細加工を施す場合は、SiやGe単体が好適なイオン材料となる。

【0007】ところが、Ge・FIB特性を調べた結果、以下のことが明らかになった。Geの質量分離FIBの電流密度はGa・FIBの80%程度を有するが、放出イオン中にはクラスタイオン（多原子イオン）が多く含まれているため、従来のGa・FIBに比べて集束性があまり良くない。Ge・EHDイオン源をFIB装置に搭載して質量分離Ge・FIB形成で非汚染微細加工をしようすると、上記のように放出イオンには同位体イオンや多原子イオンを多く含むため、集束性が悪く、いわゆる、ビームばけの状態になり、微細な加工がしにくくなる問題が生じることが明らかになった。従来のFIB加工は、質量分離のGaやInイオンビームによってなされていた。GaやInイオン源から放出するイオン種の殆どが1原子1価イオンで、質量分離を施さなくても集束性に影響を与えなかったため、従来の微細加工専用のFIB装置には取って質量分離器を搭載

する必要がなかった。

【0008】また、質量分離してGeの同位体中最大強度を有する質量数74の2価イオン（以下、 $^{74}\text{Ge}^{2+}$ と記載）をFIB化させると、集束性は格段に良くなるが、その電流密度はGa・FIBの1/10程度に低下する。つまり、微細加工には最適だが、加工時間がかかるという問題を有している。

【0009】本発明の目的は、ウエハやデバイスなどの試料に対してFIBを照射して、デバイス自身もしくはその製造ラインにコンタミネーションを与えることなく微細加工が行え、かつ、短時間で精密に微細加工の行える方法およびそれを実現するための装置を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的は、高速微細加工を行う方法として、質量非分離でFIB化してビーム集束性を多少犠牲にして短時間に行う粗加工工程と、逆に、ビーム電流密度を犠牲にして質量分離を行った集束性の高い特定イオン種FIBによって行う仕上げ加工工程からなる微細加工方法によって達成される。

【0011】この方法において、質量非分離のFIBイオン種が加工すべき試料の主成分元素とは異種元素で、かつ、周期律表において上記主成分元素と同族の単体元素であることにより、試料に電氣的汚染を与えずに行える。特に、試料がSiのウエハやデバイスの場合、上記質量非分離のFIBイオン種がGeイオンであると、FIBによる微細加工を行っても電氣的汚染を与えない。また、ダイヤモンド基板のデバイスの加工にはダイヤモンド（炭素）と同族のSiまたはGe・FIBを用いられ

【0012】また、仕上げ加工で用いるビームは、集束性がよい2価イオンビームを用いるか、さらに、質量数74または72のゲルマニウム2価イオンビームを用いることで加工面は平滑になる。

【0013】また、上記微細加工が、具体的には、断面を露出させるための凹部形成加工である時に効果を発揮する。

【0014】さらに、これらの微細加工方法を実現するには、所望のイオンを放出するイオン源と、放出イオンを集束化するイオンビーム集束系と、上記放出イオンを質量分離する質量分離器と、上記集束イオンビームを走査する偏向器と、加工すべき試料を保持する試料台からなる集束イオンビーム装置において、特に、上記イオン源が、加工すべき試料の主成分元素とは異種元素で、かつ、元素の周期律表において上記主成分元素と同族の単体元素をイオン材料とするEHDイオン源である微細加工装置によって実現される。また、上記微細加工装置において、加工すべき試料の主成分がシリコンであり、イオン源が、ゲルマニウム単体をイオン材料とするEHDイオン源である微細加工装置によってSiデバイスを電

5

氣的汚染させずに微細加工できる。さらに、74以上の質量分解能を有する質量分離器を搭載したFIB装置によって、 $^{74}\text{Ge}^{2+}$ または $^{72}\text{Ge}^{2+}$ のFIBを得ることができ、FIBの集束性が良くなり、微細性を要求される仕上げ加工を実現するFIB装置を提供できる。また、集束イオンビーム装置において、加工すべき試料の主成分が炭素である場合、上記イオン源が、Ge単体またはSi単体をイオン材料とするEHDイオン源によって構成することで、ダイヤモンド基板デバイスを電氣的汚染なしに高速にかつ精密に微細な加工を実現できる微細加工装置が提供できる。

【0015】

【作用】イオン源に、試料の主成分元素とは異種元素で周期律表上同族元素をイオン材料としたEHDイオン源を用いることにより、照射したイオンビームで試料やその製造ラインに対して電氣的コンタミネーションを与えることはない。試料の主成分元素とは異種で周期律表上同族の単体元素の例として、試料がSiウエハやSiデバイスの場合にはGe単体が、ダイヤモンド基板デバイスに対してはSiやGeが相当する。GeやSi単体をイオン材料としたEHDイオン源を用いて、これから得られる高電流密度のFIBを試料に照射することで、試料やその製造ラインに電氣的汚染を与えることなく微細加工が行える。

【0016】また、たとえば、Ge・FIBで効率よく、かつ、精密に微細加工を行うには、まず、粗加工として、質量非分離のGe・FIBで行う。この時、質量非分離のGe・FIBには多種類のイオン種（多価イオンや多原子イオン、同位体イオン）が混在するためビーム集束性はあまり良くないが、ビーム電流密度は高密度であるため、高速加工が可能である。所望の形状になる直前まで粗加工し、仕上げ加工に移る。仕上げ加工には質量分離した集束性のよいFIBを用いることで精密な加工ができる。Geビームの場合、 $^{74}\text{Ge}^{2+}$ を用いることで、質量分離したイオン種の中で最も高電流密度のビームが得られ、集束性が良い。

【0017】このようなイオン種のFIBによる試料への照射により、試料やその製造ラインにコンタミネーションを与えることなく、微細加工、試料表面の観察、また、試料からの信号を利用した分析や計測することで試料自身またはその製造履歴を検査するための微細加工が可能となる。

【0018】ここで、質量非分離のGe・FIBと質量分離後の $^{75}\text{Ge}^{2+}$ ・FIBのビーム径と電流密度の大小関係を定性的に示す測定結果を示す。図2は質量非分離のGeイオンと質量分離後の $^{75}\text{Ge}^{2+}$ イオンのエネルギー分布である。横軸は基準エネルギーに対する相対エネルギーを電子ボルト単位で示し、縦軸は相対イオン強度で、任意単位で示した。2本の分布のうち、31で示したのは、質量非分離のGeイオンのエネルギー分布であり、3

6

2の曲線は質量分離後の $^{75}\text{Ge}^{2+}$ のエネルギー分布を示している。この時の全放出イオン電流値は $1\mu\text{A}$ である。また、各分布のピーク位置は作図時に一致させてある。分布31の半値幅は約15eVであり、分布32は約8eVである。また、イオン強度を比較すると、約2/3である。到達電流（分布の積分値）で比較すると、分布32は分布31の約1/10である。この結果からも、質量非分離の電流強度は質量分離後のものに比較して大きい、エネルギー拡がりも大きい、微細性を要求しない高速加工に適し、イオン強度は弱い、エネルギー拡がりの小さい質量分離後のビームが好ましいことがわかる。

【0019】

【実施例】以下、本発明による実施例を図1を用いて説明する。図1はFIB装置であり、11はイオン源、15、15'は集束レンズ、16は質量分離器（ウィーンフィルタ）であり、20は試料である。本実施例ではイオン源11は、イオン材料がゲルマニウム単体であるEHDイオン源であり、試料20はシリコンメモリデバイスである。

【0020】質量分離器16は、電磁石と平行電極を組み合わせたウィーンフィルタであり質量分解能は80で、質量数73と74のGeの同位体を分離することができる。また、電極、磁極を動作させないことで、放出イオンは質量分離されない。イオン源11ではイオン材料であるGe単体が溶融状態にされ、引出し電極に高電圧を印加することで、エミッタ12先端からGeイオンとして放出される。放出イオンは、ビーム制限アパチャ14で拡がりが制限され、中心近傍のイオンのみが下流へ導かれる。集束レンズ15によってイオンビームは絞られ質量分離器16に入る。質量分離器16によってGeイオンビームは質量分離され、最大強度を持つ質量数74のGe2価イオンのみが選択され、絞り17を通過する。ここでは、質量分解能を最大能力にして、質量数74のGe2価イオンのみを選択したが、分解能を弱め、2価イオンについて同位体まで分離せずに絞り17を通過させることで、質量数74のGe2価イオンのみのビームよりイオン電流量は多くなる。絞り17は大小数種類の開口を有し、集束性に合わせて選択する。絞り17を通過したイオンビームは集束レンズ15'によって再度集束され、FIB21となり試料ステージ19上の試料20に照射される。この時、FIB21は偏向器によって試料20上で走査、掃引することができる。FIB21照射によって、試料20から二次電子22が放出され、二次電子検出器23によって検出される。検出信号をCRT（図示せず）に入力し、CRTの掃引と偏向器18の掃引の同期をとると、FIB照射領域の二次電子像を見ることができ、試料の微小部を観察することができる。これら部品は全て真空容器25内に納められており、本装置では、バルブ24、24'によって、他の装

図と連結され、試料の相互のやり取りを行うことが可能である。

【0021】次に、本装置でデバイスの特定部分の断面を観察するための矩形凹部形成方法について説明する。まず、質量分離器16を動作させない状態でイオンビームを集束させ、このFIB21を試料40面上で矩形に走査させる。図3(a)はデバイス表面の一部を示し、斜線部はFIBの走査領域41である。この時の質量非分離GeFIB42のビーム径は100nm、電流密度は約4A/cm²、エネルギーは25keVである。およそ2分のビーム走査により、図3(b)のような縦横4×6μm、深さ4μmの矩形凹部43が形成できた。このままでは、矩形凹部43の側面44は凹凸が大きく、断面を詳細に観察することができない。

【0022】次に、質量分離器16を動作させ、質量数74のゲルマニウム2価イオン(⁷⁴Ge²⁺)を分離し、集束させる。(図3(c)参照)この時の⁷⁴Ge²⁺+FIB45はビーム径20nmで、電流密度0.5A/cm²である。この⁷⁴Ge²⁺+FIB45を観察すべき断面に沿って数回走査することで、凹部側面(断面)46は平滑になり、断面の材質の違いによるコントラストが強調され、断面構造の詳細な観察ができるようになった。

【0023】本方法の最大の特徴は、用いるビーム種が1種類であり、しかも、試料とは周期律表上同族の元素のGeであるため、Siウエハを電氣的汚染を発生することなく、しかも、高電流密度の非質量分離のFIB42による粗加工モード(図3b)と、質量分離した細束FIB45による仕上げ加工モード(図3a)を使い分けるため、側面の平滑な凹部を高速に形成することができる点にある。

【0024】ここで、粗加工モードと仕上げ加工モード

の切り替えには、以下の手段を用いる。仕上げ加工モードで用いるイオン種は予め決めておき、加速電圧と質量分離器の電極と磁極への投入電圧、電流値、更に、使用する絞りの開口を予めFIB制御装置(図示せず)にメモリしておく。粗加工終了後、仕上げ加工に入る際、FIB制御装置で仕上げ加工モードを指示するだけで、質量分離器の電極と磁極への投入電圧、電流値、使用する絞りの開口を自動的に設定でき、細束FIBによる仕上げ加工に移ることができる。

10 【0025】本方法はGe・FIBのSiデバイスへの適用ばかりでなく、ダイヤモンド基板デバイスをSi・FIBもしくはGe・FIBによって微細加工する時も適用することができる。

【0026】

【発明の効果】本発明により、試料に電氣的汚染を与えることなく、高速で、かつ、精密な加工面を形成する微細加工方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の集束イオンビーム装置の説明図。

【図2】質量非分離のイオンと質量分離後のイオンのエネルギー分布図。

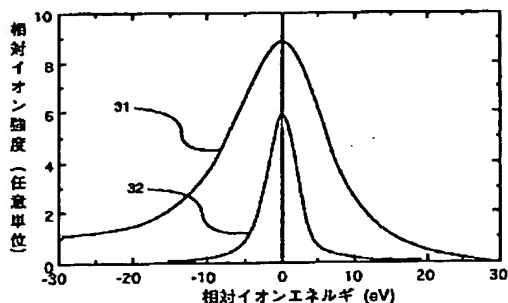
【図3】本発明の微細加工方法を用いた矩形穴形成加工を示す説明図。

【符号の説明】

11…イオン源、12…エミッタ、13…引出し電極、14…ビーム制限アパチャ、15、15'…集束レンズ、16…質量分離器、17…絞り、18…偏向器、19…試料ステージ、20…試料、21…FIB、22…二次電子、23…二次電子検出器、24、24'…パルプ、25…真空容器。

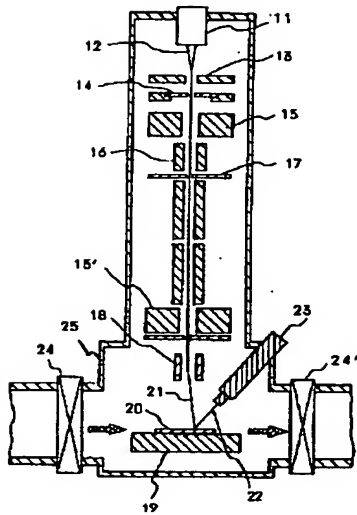
【図2】

図2



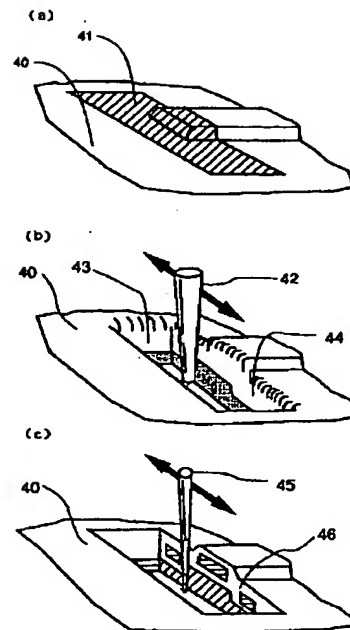
【図1】

図1



【図3】

図3



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶

H 0 1 J 37/317

識別記号

庁内整理番号

D 9172-5E

F I

技術表示箇所

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

English abstract
of Document 6)

(11)Publication number : 07-296756

(43)Date of publication of application : 10.11.1995

(51)Int.Cl.

H01J 37/08
C23C 14/32
H01J 27/26
H01J 37/05
H01J 37/305
H01J 37/317

(21)Application number : 06-084361

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 22.04.1994

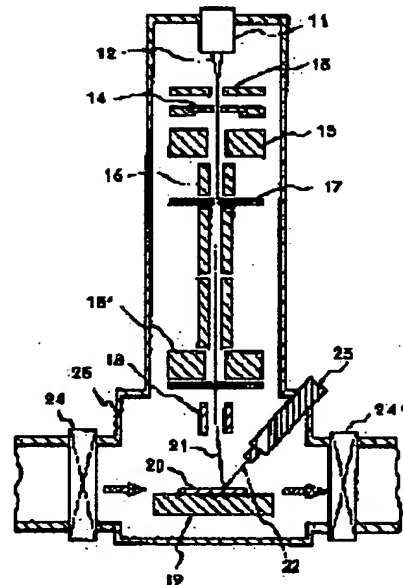
(72)Inventor : UMEMURA KAORU
KAWANAMI YOSHIMI

(54) FINE WORKING METHOD, AND DEVICE THEREFOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To perform a precise working without electrically contaminating a sample by scanning the sample by a mass non-separated focused ion beam to roughly work it, and then performing a finishing work with the focused ion beam of specified ion species subjected to mass separation.

CONSTITUTION: An ion source 11 consisting of Ge single body in the fused state is emitted as Ge ion from the top end of an emitter 12 in a vacuum vessel 25, and guided into a mass separator 16 as Ge ion beam through a drawing electrode 13, a beam control aperture 14, and a condensing lens 15. The ion beam is scanned on a sample 20 (silicon) surface through a condensing lens 15' and a deflecting system 18 without operating the mass separator 16 to roughly work the sample 20. The mass separator 16 is then operated, Ge divalent ion having a mass number of 74 is separated and focused, and it is scanned on the roughly worked surface, whereby a finishing work is performed to form a smooth surface. Thus, a finely worked surface can be formed at high speed without electrically contaminating the sample 20.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's
decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of
rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office